

EP 04 / 8258



REC'D 13 OCT 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**Aktenzeichen:**

10 2004 030 668.0

**Anmeldetag:**

24. Juni 2004

**Anmelder/Inhaber:**

Dipl.-Phys. Klaus W o l t e r, 40825 Düsseldorf/DE

**Bezeichnung:**

Verfahren und/oder Vorrichtung zur Messung von  
Geschwindigkeitsvektoren

**IPC:**

G 01 P, G 01 J, G 01 C

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 23. September 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Wolter

## **Verfahren und / oder Vorrichtung zur Messung von Geschwindigkeitsvektoren**

Das hier vorgestellte Verfahren und / oder die Vorrichtung zur Messung von Geschwindigkeitsvektoren (schematische Darstellung der Funktion durch Fig. 1; Achtung Fig. 1 stellt keine Festlegung auf eine Geometrie dar!) basiert auf den Effekten nach Fizeau, Sagnac und Doppler und zeichnet sich dadurch aus, daß mindestens ein (und oder mehrere) Emissionsort an mindestens einer (und / oder mehrere) Quelle vorhanden ist, dessen Emission sich auf mindestens zwei Pfaden mit jeweils einer bekannten Geschwindigkeit und jeweils einer bekannten Wellenlänge (hier ist die universelle physikalische Wellenlänge gemeint, die jedem Objekt zuordbar ist) ausbreitet und auswertbare Interferenzen insbesondere, aber nicht notwendigerweise nur für die Zeit der jeweils notwendigen Meßdauer an einem oder mehreren Meßorten ergibt, sowie mindestens einen der Pfade von dem (den) so gearteten Emissionsort(en) zu dem (den) so gearteten Meßort(en) derart, daß die auf diesem Pfad gegebene Phasenlage durch ein translatorisches Ereignis gegen die eines jeweils anderen Pfades verschoben wird. Dabei sind die Pfade so dargestellt, daß ein rotatorisches Ereignis, ein thermischer, oder sonstiger nicht translatorischer Einfluß keine Verschiebung der Phasenlagen zwischen diesen Pfaden ergibt, oder diese überlagernden Ereignisse und Einflüsse durch außerhalb der Pfade liegende (= externe) Vorrichtungen korrigiert sind. Die Verschiebung der Phasenlagen (= Meßsignal) die das Interferenzsignal dieser Pfade ergibt ist dann ein Maß für die Geschwindigkeit. Die Richtung ergibt sich als die Raumrichtung, für die das Meßsignal für die gegebenen Pfade maximal wird (= Pfad größter Differenz). Insbesondere läßt sich so, bei Vorgabe eines definierten Geschwindigkeitsvektors die vorrichtungsimmanente Meßachse ermitteln.

Die oben beschriebenen Pfade müssen nicht notwendigerweise homogen sein, was bedeutet, daß sie auch aus jeweils mehreren auch verschiedenen Teilstücken zusammengesetzt sein können.

Die benannten Effekte und damit das Meßsignal treten dann auf, wenn auf den geplanten Ausbreitungspfaden die Emission sich ungehindert ausbreiten kann; anders gesagt: Die Emission die nötigen Freiheitsgrade für ihre Ausbreitung und damit die nötigen Freiheitsgrade für das Auftreten der Effekte aufweist. Veranschaulicht und damit vereinfacht gesagt: Ist z.B. ein Photon in einem Lichtwellenleiter ausschließlich in der longitudinalen Mode existent, so hat es auch nur in dieser Mode einen Freiheitsgrad und nur in diesem Freiheitsgrad wird es nachweisbare Effekte geben. Also kann und wird die Selektion einer bevorzugten Meßrichtung durch die Konstruktion und physikalischen Eigenschaften des Sensors, also durch die Festlegung der Freiheitsgrade der Ausbreitung vorgegeben.

Anders ausgedrückt ist das Verfahren und / oder die Vorrichtung dadurch gekennzeichnet, daß eine wie auch immer geartete Quelle mit Emissionsorten für Strahlung dargestellt wird, die einen bekannten Phasenbezug zwischen den Emissionsorten des Meßvorgangs aufweist – diese Emissionsorte können räumlichen und / oder zeitlichen Abstand aufweisen – und für die jeweils die Pfade (= Wege) eine (möglichst große) Verschiebung der Phasenlagen bezüglich einer translatorischen Bewegung aufweisen.

Maßgeblich für die prinzipiell mögliche Auflösung des hier vorgestellten Verfahrens und/oder der Vorrichtung sind die Wellenlänge der Emission, sowie der Laufzeitunterschied auf den Wegen. Nachgeordnet sind die Fähigkeiten des Phasenvergleichers, sowie die statistischen und systematischen Fehler.

Für die Realisierung gibt es nun eine Mannigfachigkeit an bevorzugten Ausführungsformen, aus denen hier allerdings nur einige wenige hervorgehoben werden, da diese innerhalb der Mannigfachigkeit Spezialfälle des Prinzips darstellen und andere Ausführungsformen Abwandlungen dieser sind.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Quelle eine Lichtquelle. Im allgemeinen ein Laser beliebiger Bauart (Linear-, Ringlaser (dieser kann natürlich weiterhin für Winkelmessungen genutzt werden), Festkörper-, Gas-, Flüssigkeitslaser, um nur die Oberbegriffe darzustellen. Techniken wie exotische physikalische Effekte z.B. Quantum Well und Superfluoreszenz o.ä. müssen ja wohl nicht einzeln aufgezählt werden). Und damit ist als bekannte Geschwindigkeit die Lichtgeschwindigkeit gegeben.

In einer weiteren Ausführungsform ist die Quelle ein wie auch immer gearteter Maser.

Als Lösungen für die Wege lassen sich in weiteren Ausführungsformen einerseits insbesondere Variationen mit Materialien, in denen die Ausbreitungsgeschwindigkeiten verschieden sind, angeben, wie auch Variationen der Weglängen (Fig. 2), wie auch die Kombination beider Vorgehensweisen.

Für die Kompensation rotatorischer Phasenverschiebungen gibt es wieder mehrere Möglichkeiten. Eine ist die geometrische Gestaltung der Wege – dazu müssen die Anteile des Weges außerhalb der Verbindungslinie zwischen Anfang und Ende sich jeweils so verhalten, daß es zu jedem Teil auf einer Seite einen gleichgroßen Teil auf der jeweils gegenüberliegenden Seite gibt (Fig. 2) – ein anderer ist die rechnerische Kompensation durch ermitteln der Drehung mittels z.B. Laserkreisel und einer anschließenden Subtraktion.

In allen Ausführungsformen wird die Emission auf die Wege aufgeteilt und zur interferometrischen Auswertung wieder zusammengeführt.

Auswirkung auf die Gestaltung einiger bevorzugter Ausführungsformen hat der Lock In – Effekt (vereinfacht gesagt: Das Fixiertsein eines Schwingungsknotens an eine Störstelle). Der Lock In – Effekt ist in diesen Fällen zumindest für zwei der drei Raumdimensionen nötig. Ist er für eine Raumrichtungen nicht vorhanden (z.B.: Laserkreisel), so muß zwecks erlangen eines nutzbaren Meßsignals der Pfad größter Differenz eine Vektorkomponente orthogonal zu dieser Raumrichtung haben. Grund dafür ist, daß in diesem Fall der Sagnac – Effekt für die Bewegung in dieser Lock – In Effekt freien Raumdimension keine Rolle spielt, sondern die Verschiebung der Phase durch die, durch die Geschwindigkeit bedingte Verschiebung des Emissionsortes im Zusammenspiel mit der verschiedenen Laufzeit auf den einzelnen Pfaden zustande kommt. Dieses Ergebnis ist allerdings nicht eindeutig dieser Lock – In Effekt freien Raumrichtung zuzuordnen, da ebenso eine Phasenverschiebung in dieser Anordnung durch eine Geschwindigkeitskomponente in Richtung des Pfades größter Differenz bedingt durch den Sagnac – Effekt zustande kommt (s.u.). Es ergibt sich somit ein Maß für die Geschwindigkeit in dieser durch den Pfad und die Lock – In Effekt freie Raumrichtung aufgespannten Fläche. Ein Geschwindigkeitsanteil normal zu dieser Fläche ergibt kein Signal. Wird dieses vektorielle Geschwindigkeitsmaß mit den Maßen analog ermittelter vektorieller Geschwindigkeitsmaße linear unabhängig zu dieser und zugleich linear unabhängig zueinander stehender weiterer Flächen kombiniert, so ergibt sich nach einfacher Vektorrechnung das Maß für die Geschwindigkeit im Raum. Andererseits, im Fall eines für alle Raumrichtungen vorhandenen Lock – In Effektes gibt es keine Einschränkung und der Sagnac – Effekt liefert die Verschiebung.

Im Fall, daß der Lock – In Effekt in allen Raumrichtungen vorliegt, wird in die beiden Pfade (Pfad 1 habe eine Signallaufzeit von  $t_1$  und Pfad 2 eine von  $t_2$  und es sei  $t_1 > t_2$ . Z.B.  $t_1 = a * t_2$ ) zur Zeit  $t_0$  ein Signal mit identischer Phasenlage eingespeist. Bewegt sich nun die Vorrichtung nicht, so existiert am Meßort ein Interferenzsignal gebildet aus den zu den Zeiten  $t_0$  und  $t_0 + (t_1 - t_2)$  ausgesandten Signalen. Wird nun die Vorrichtung mit einer Geschwindigkeit  $v = \Delta l / \Delta t$  bewegt, so addiert sich zu beiden Pfaden die Verschiebung durch diese Bewegung und der jeweilige Pfad, also die jeweilige Laufzeit wird damit länger (Sagnac – Effekt). Und zwar für Pfad 2 um  $\Delta t$  und für Pfad 1 um  $a * \Delta t$ . D.h., daß am Ende des Pfades 1 eine Phase vorliegt, die der Phasenlage eines Pfades der Laufzeit  $t_1 + a * \Delta t$

entspricht und am Ende des Pfades 2, da ja durch den Lock – In Effekt die ursprüngliche Phase mitgenommen wurde, eine Phase vorliegt, die der Phasenlage von  $t_2 + \Delta t$  entspricht. Und diese Änderung der Differenz der Phasenlagen Abhängigkeit von der Geschwindigkeit  $v$  um  $(a - 1) \cdot \Delta t$  ergibt in ein periodisches Interferenzsignal.

Im Fall, daß der Lock – In Effekt für eine Raumrichtung nicht vorliegt, so muß, wie schon beschrieben der Pfad größter Differenz eine Vektorkomponente orthogonal zu dieser Raumrichtung haben. Für diese Vektorkomponente ergibt sich nun in ganz ähnlicher Betrachtung wie vorstehend ebenso eine Änderung der Phasendifferenz um  $(a - 1) \cdot \Delta t$ .

Das hier vorgestellte Verfahren und / oder die Vorrichtung zur Messung von Geschwindigkeitsvektoren erfaßt für den Fall einer dreidimensionalen Messung alle Geschwindigkeiten / Geschwindigkeitsvektoren in Summa z.B. angefangen von der Geschwindigkeit der Milchstraße im uns bekannten Universum, über die Bewegung des Sonnensystems bzgl. des galaktischen Zentrums, über die Bewegung der Erde im Sonnensystem, über die Bewegung der Erde an sich, wie auch die Bewegung der Erdkruste bis hin zur Eigenbewegung des zu messenden Objektes, wie der Eigengeschwindigkeit der Vorrichtung selber. Für die Ermittlung des entsprechend betrachteten Vektoranteils sind somit die anderen zu subtrahieren.

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform nutzt als Quelle z.B. insbesondere einen Laser, eine Laserdiode (mithin ein linearer Gas-, Flüssigkeits-, oder Festkörperlaser, wie auch ein wie auch immer gearteter Ringlaser). Vom Lichtemissionsort dieses Lasers führt nun z.B. ein nach kurzem Weg gesplitteter Lichtwellenleiter (= LWL), dessen einer Ast (= Pfad) nach dem Split länger (im Sinne des vorher Geschriebenen) ist als der andere und die zwecks Interferenzbildung wieder zusammengeführt werden. An dessen Ende ist dann eine Interferenzauswertevorrichtung (Phasenvergleich) z.B. mit einer Photodiode als Sensor angebracht. Dort wird dann die Phasenlage des früher ausgesandten (gespeicherten) Lichtes mit der des später ausgesandten Lichtes verglichen. Der Lichtwellenleiter wird nun entsprechend der Anforderung (s.o.) zur Selektion einer Raumrichtung verlegt. Oder aber es wird ein physikalisch analoger Aufbau mit Reflektoren und Strahlteilern wie in Fig. 2 aufgezeigt genutzt. Insbesondere läßt sich das Licht des hier eingesetzten Lasers gleichzeitig für alle mittels entsprechend angeordneter weiterer gesplitteter Lichtwellenleiter zur Messung weiterer Raumrichtungen nutzen.

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform nutzt im Prinzip den Aufbau hinlänglich bekannter Faserkreisel. Der Kernunterschied liegt hier in der Gestaltung des Sensorkopfes. Dieser besteht hier nicht aus einer aufgewickelten Lichtwellenleiterfaser, sondern aus einem gemäß obiger Vorschriften konstruierten Pfad. Der prinzipielle Aufbau ist aus Fig. 3 und 4 ersichtlich. Insbesondere läßt sich das Licht des hier eingesetzten Lasers gleichzeitig für alle mittels entsprechend angeordneter weiterer gesplitteter Lichtwellenleiter zur Messung weiterer Raumrichtungen nutzen. Anstelle der Verlängerung des einen Teils des Weges durch Faltung (Fig. 4) kann auch die Änderung der Ausbreitungsgeschwindigkeit im Medium durch Einsatz eines Materials mit verschiedenem Brechungsindex zur „Verlängerung“ des Weges genutzt werden. Dies natürlich auch durch und in Kombination beider Formen. Es gilt: Je größer die Differenz, desto größer die Auflösung, desto empfindlicher die Ausführungsform.

Um eine Vorstellung von der Größe des Meßeffektes zu erhalten sei die resultierende Verschiebung anhand einer typischen Schrittgeschwindigkeit von 3,6 km/std verdeutlicht (3,6 km/std = 1 nm/nsek). Bei einem angenommen Abstand der Lichtemissionsorte von einer Lichnanosekunde (ca. 30 cm) und einer Wellenlänge des Lichtes von 400 nm ergibt dies eine gut beherrschbare Meßgröße.

Die potentiell mögliche Wiederholrate für Messungen ist im wesentlichen durch die Laufzeit der Emission auf dem längeren Weg, sowie der nachfolgenden Verarbeitung des Signals gegeben und liegt im oberen Megahertzbereich.

Da das hier vorgestellte Verfahren und / oder die Vorrichtung ein inertiales arbeitendes System darstellt, wird ein Bezug zu einem anderen bewegten Objekt z.B. durch einen einfachen Kontakt zu diesem dargestellt. Ansonsten zeigt das Gerät den Eigengeschwindigkeitsvektor seiner selbst an.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird ein Pfad mindestens doppelt ausgenutzt, indem die Emission diesen in beiden (gegenläufigen) Richtungen durchstrahlt (funktions schematische Darstellung in Fig.3). Vorteil dessen ist die Einsparung eines Pfades für eine Meßrichtung zwecks Minimierung der Bautelle und die Reduktion thermischer und sonstiger Pfadkonditionen.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird dieser eine Pfad durch zwei separate Pfade ersetzt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform werden zur vollständigen Erfassung einer Bewegung – Translation und Rotation – nun wenigstens sechs der nach obigem Verfahren dargestellten Vorrichtungen so im Raum verteilt, daß die Meßsignale der durch das Verfahren und / oder die Vorrichtung gegebenen Meßachsen durch eine geeignet gewählte mathematische Rechenvorschrift eindeutig in die eine Bewegung charakterisierenden Raumvektoren – translatorische und rotatorische Geschwindigkeit – zerlegbar sind. Die Auflösung der rotatorischen Geschwindigkeit wird durch die Vergrößerung der Abstände der Vorrichtungen und damit der Meßachsen verbessert. Ein Beispiel für die Anordnung ist die Anbringung von sechs Vorrichtungen auf den sechs Flächen eines Würfels.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform, in der keine vollständige Erfassung einer Bewegung gewollt und / oder erforderlich ist werden nicht benötigte Meßachsen weggelassen und / oder durch andere Verfahren und / oder Vorrichtungen ersetzt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird das Verfahren und / oder die Vorrichtung um einen oder mehrere Beschleunigungssensoren ergänzt, damit so, ohne Vorliegen einer Bewegung ein Bezug zur lokalen Schwerkraftnormalen hergestellt werden kann.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird das Verfahren und / oder die Vorrichtung um eine oder mehrere Wasserwaagen o.ä. ergänzt, damit so, ohne Vorliegen einer Bewegung ein Bezug zur lokalen Schwerkraftnormalen hergestellt werden kann.

Anwendungsgebiete sind Orts- und Lagebestimmung von diversen Objekten und Subjekten oder Teilen derselben, von denen exemplarisch nur einige hier aufgeführt werden:

- Schreibgeräte, wie z.B. Stift, Kugelschreiber, Computer, Computermouse, Fahrrad, Motorrad, Automobil, Sonderfahrzeuge, wie Kräne, mobile Brücken, Bau- und Lastfahrzeuge, Eisenbahn, Transrapid, Hubschrauber, Lenkflugkörper, Flugzeug, Raumfahrzeug, Schiff, U-Boot, Militärfahrzeuge jeglicher Art, Kugel, Granate, Rakete, Haushaltsgeräte wie z.B. Staubsauger, Rasenmäher, Roboter für Haushalt, und Industrie, Industriergeräte, wie Walzen, Kräne, Gabelstapler, Transportpaletten, Berg- und Tunnelbaumaschinen, wie Bohrer, Fräser, Offshoreanwendungen wie Plattformstabilisierungen, Tiefenbohrgeräte, Spielzeug wie Puppen, Tiere, Automobile sowie Teilkomponenten derselben, sowie jeglicher Gegenstand dessen Freiheitsgrade der Bewegung festgestellt und / oder geregelt werden sollen.

- Mensch, sowie Teile des Menschen, wie z.B. Finger, Hände, Arme, Beine, Füße, Kopf und Rumpf. Auch innere Teile wie die Organe oder deren Teile.
- Tier, sowie Teile desselben (s. Mensch).

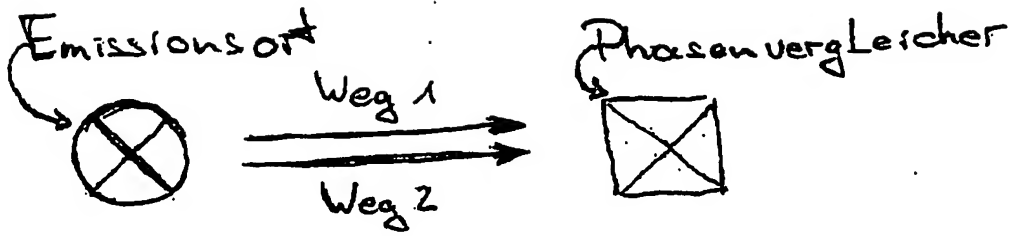


Fig. 1

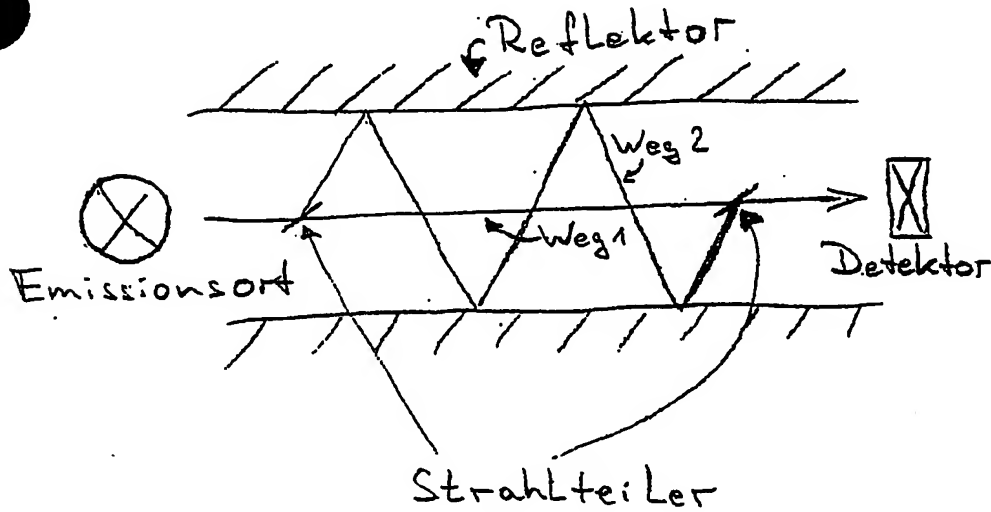


Fig. 2

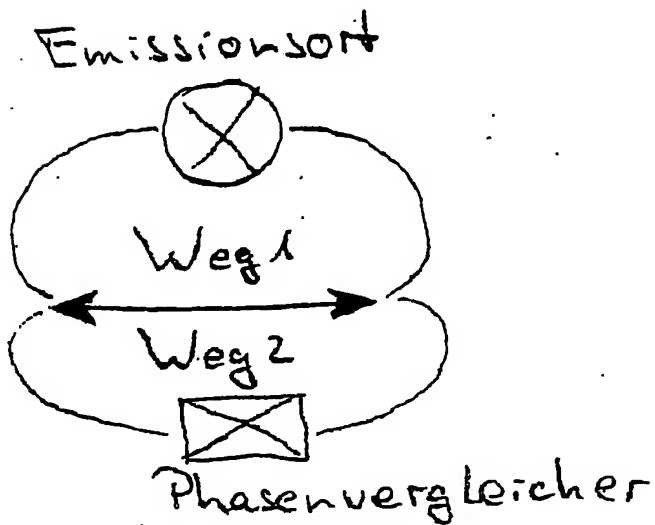


Fig. 3

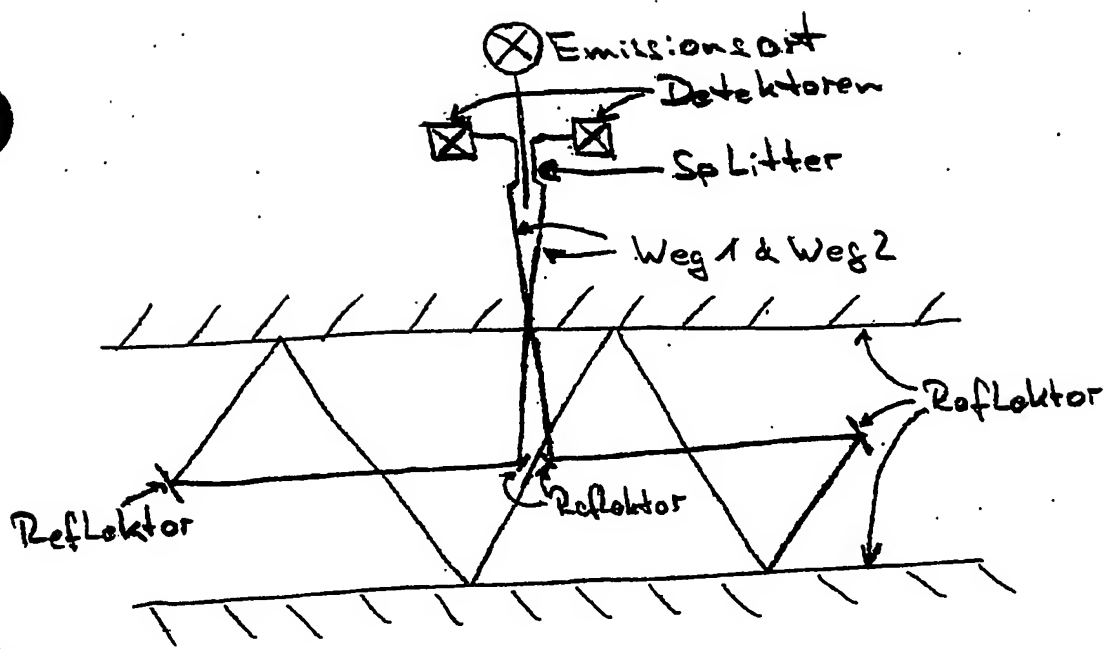


Fig. 4